

SŁAWOMIR STANKOWSKI¹, MARZENA GIBCZYŃSKA²

ZMIANY ZAWARTOŚCI AZOTU MINERALNEGO I FOSFORU PRZYSWAJALNEGO W PODŁOŻACH WYKONANYCH NA BAZIE POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO I OSADÓW ŚCIEKOWYCH PODCZAS UPRAWY TRAWY *FESTULOLIUM BRAUNII*

CHANGES OF MINERAL NITROGEN AND AVAILABLE PHOSPHORUS CONTENT IN THE BEDDINGS MADE FROM SEWAGE SLUDGE AND FLUIDAL ASH FROM HARD COAL DURING CULTIVATION OF THE GRASS *FESTULOLIUM BRAUNII*

¹Katedra Agronomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

²Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Abstract: The aim of this study was to assess the possibility of recultivation of coal fluidal ashes by combining them with fermented sewage sludge, straw and a preparation of Effective Microorganisms (EM-1). Based on the results of a three-year study with *Festulolium braunii*, Felopa variety, the influence of factors introduced in the experiment on the available phosphorus and nitrate mineral content in the substrate was observed. The introduction of sewage sludge and straw was a factor increasing the available phosphorus and nitrate nitrogen (V) in the substrate with light soil and coal fluidal ashes. The presence of Effective Microorganisms (EM-1) was a factor in decreasing the available phosphorus and nitrate nitrogen (V) content in the substrate used in the experiment.

Słowa kluczowe: popiół fluidalny, osad ściekowy, azot mineralny, fosfor przyswajalny, Efektywne Mikroorganizmy

Key words: fluidal ash, sewage sludge, mineral nitrogen, available phosphorus, Effective Microorganisms

WSTĘP

Podstawowym czynnikiem wpływającym na wartość i przydatność rolniczą gleby jest jej zasobność w odżywcze składniki mineralne. Zasobność gleby w przyswajalne formy azotu i fosforu stanowi główny czynnik plonotwórczy i na tej podstawie można ocenić jej urodzajność.

Ilość azotu ogólnego w glebach mineralnych waha się od 0,02 do 0,35%, z czego ponad 90% występuje w związkach organicznych. Zaledwie 1-5% azotu glebowego występuje w postaci mineralnej, tj. bezpośrednio dostępnej dla roślin [Tkaczyk i in. 2007; Falkowska, Filipek 2009]. Związki zawierające fosfor biorą udział prawie we wszystkich etapach przemian substancji azotowych i zachowanie właściwego stosunku N:P w odżywianiu się roślin jest jednym z podstawowych warunków prawidłowego przebiegu procesów metabolicznych [Koper, Lemanowicz 2007].

Odpady paleniskowe, w tym popioły fluidalne z węgla kamiennego, generalnie charakteryzują się brakiem substancji organicznej i azotu, co wskazuje na konieczność stosowania ich do celów rolniczych w połączeniu z materiałami bogatymi w składniki organiczne. Takim surowcem mogą być osady ściekowe i komposty z nich wytworzone. Oba komponenty uzupełniają niedobory składników pokarmowych, stwarzając roślinie odpowiednie warunki rozwoju. Osady ściekowe charakteryzują się dużą zasobnością w składniki, z wyjątkiem potasu, mające znaczenie nawozowe dla gleb i roślin [Maćkowiak 2000, Wołoszyk i in. 2006]. Przyjmując średnią zawartość fosforu w osadach ściekowych na poziomie $15 \text{ g P kg}^{-1} \text{ s.m.}$ i azotu $35 \text{ g N kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [Czekała 2009] są one materiałem, który może stanowić poważne źródło dla roślin tych pierwiastków biogenych.

Celem prowadzonych badań była ocena możliwości rekultywacji popiołów fluidalnych z węgla kamiennego, przez połączenie ich z przefermentowanym osadem ściekowym, słomą i preparatem Efektywne Mikroorganizmy (EM-1). Na podstawie wyników z trzyletniego doświadczenia z *Festulolium braunii* odmiany Felopa analizowano wpływ wprowadzonych w doświadczeniu czynników na kształtowanie się zawartości fosforu przyswajalnego i azotu mineralnego w podłożach wykonanych na bazie popiołu, jak i gleby lekkiej.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2007-2009 przeprowadzono doświadczenie wazonowe zlokalizowane we wsi Dębina (wsp. geogr. 53,275 N i 14,822 E), oddalonej ok. 40 km od Szczecina. Rośliną testową była trawa (*Festulolium braunii* odmiany Felopa). Doświadczenie jedno-czynnikowe założono metodą kompletnej randomizacji w 4 powtórzeniach, w wazonach o objętości 20 dm^3 . Schemat badań obejmował osiem wariantów nawozowych podzielonych na dwie części: w jednej podstawę podłoża stanowiła gleba, a w drugiej popiół fluidalny z węgla kamiennego (tab. 1). Do doświadczenia użyto następujące komponenty: glebę lekką, popiół fluidalny z Elektrociepłowni Żerań firmy Vattenfall Heat Polska S.A., słomę pszenną, osad ściekowy, pochodzący z komunalnej oczyszczalni ścieków z Przelewic po roku leżakowania na wolnym powietrzu.

Gleba użyta w doświadczeniu charakteryzowała się odczynem kwaśnym, pH w H_2O wynosiło 5,13 [PN-R-04022:1996/Az1:2002/]. Natomiast pH popiołu fluidalnego z węgla kamiennego wynosiło 12,2, a osadu ściekowego 8,0. Zasadowy odczyn popiołu był efektem zawartości w nim wapnia (8,4%) i magnezu (1,4%). Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie wynosiła $95,5 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby, a azotu ogólnego 0,06 %.

Osad ściekowy zawierał fosforu ogólnego $5,0 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1}$ osadu oraz azotu amonowego i azotu ogólnego odpowiednio 10,4 i $53,6 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1}$ osadu. Badanie osadu ściekowego zostało przeprowadzone na próbie średniej. Nie stwierdzono w nim obecności bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* oraz żywych jaj pasożytów jelitowych typu *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* Jako substancje aktywujące procesy biochemiczne zastosowano: preparat Efektywne Mikroorganizmy (EM-1) w dawce $6,0 \text{ cm}^3$ na wazon (po na-

TABELA 1. Numer wariantu nawozowego i zastosowane komponenty nawozowe
 TABLE 1. Variant number of the fertilizer and fertilizer components applied

| Wariant Variant | Zastosowane nawożenie Fertilization |
|--------------------|---|
| 1 | Kontrola - gleb; Control - soil |
| 2 | Gleba + osad ściekowy + słoma (w stos. obj. 4:2:1) Soil + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) |
| 3 | Gleba + osad ściekowy + słoma (w stos. obj. 4:2:1) + EM-1 S oil + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + EM-1 |
| 4 | Gleba + osad ściekowy + słoma (w stos. obj. 4:2:1)+ EM-1+EM-X Soil + sewage sludge +straw (relative vol. 4:2:1) +EM-1 + EM-X |
| 5 | Kontrola - popiół fluidalny; Control - fluidal ash |
| 6 | Popiół fluidalny + osad ściekowy + słoma (w stos. obj. 4:2:1) Fluidal ash + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) |
| 7 | Popiół fluidalny+osad ściekowy+słoma (w stos. obj. 4:2:1)+ EM-1 Fluidal ash + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + EM-1 |
| 8 | Popiół fluidalny+osad ściekowy+ słoma (w stos. obj. 4:2:1)+EM-1 + EM-X Fluidal ash + sewage sludge + straw (relative vol. 4:2:1) + EM-1 + EM-X |

mnożeniu), co odpowiadało $15 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ koncentratu oraz Proszek Ceramiczny EM-X w dawce $0,4 \text{ g}$ na wazon, co równa się $40 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Producentem preparatu była firma Greenland z siedzibą w Janowcu nad Wisłą. Preparat EM-1 zawierający Efektywne Mikroorganizmy stanowi mieszaninę składającą się z 5 głównych grup drobnoustrojów, tj. bakterii kwasu mlekowego, bakterii fotosyntetyzujących, drożdży, promieniowców – *Actinomyces* oraz grzybów fermentujących. Preparat sprzedawany jest w Polsce pod nazwą EM-1, czyli koncentratu zawierającego ponad 80 różnych mikroorganizmów. W celu aktywacji koncentratu EM-1 i otrzymania formy namnożonej, aktywnej czyli EM-A, zmieszano wodę z preparatem EM-1 oraz preparatem A-Plus (melasa z trzciny cukrowej), który jest źródłem pożywienia dla mikroorganizmów znajdujących się w EM-1. Po wymieszaniu komponentów do produkcji podłoży według schematu (tab. 1) wprowadzono nawozy mineralne (superfosfat potrójny granulowany 46% P_2O_5 , sól potasową 50% K_2O , mocznik 46% N) w ilości odpowiadającej 120 N , 30 P , $100 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dodatkowo po każdym pokosie zastosowano dawkę azotu w wysokości odpowiadającej $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Do wazonów o objętości 20 dm^3 i powierzchni $0,1 \text{ m}^2$ 4 kwietnia 2007 r. wysiano roślinę testową z gatunku *Festulolium braunii* odmiany Felopa w liczbie 20 nasion na wazon, co odpowiada ilości 50 kg na hektar. Podczas realizacji doświadczenia prowadzone były podstawowe zabiegi pielęgnacyjne, zgodnie z zasadami agrotechniki. Celem utrzymania prawidłowego uwilgotnienia gleby w wazonach w czasie doświadczenia stosowano automatyczne zraszanie, raz w tygodniu przez 20 minut taśmą kroplującą T-tape. Preparat EM-1 i Proszek Ceramiczny EM-X zastosowano 5 czerwca w pierwszym roku doświadczenia. W pierwszym roku okres wegetacyjny trwał 162, a w dwóch następnych po 152 dni. W każdym roku doświadczenia otrzymywano trzy pokosy uprawianej trawy, którą po zebraniu suszono w temp. 105°C . Po zakończeniu każdego okresu wegetacyjnego pobrano próbki podłoża za pomocą laski Egnera i wykonano analizę fizykochemiczną materiału doświadczalnego. Próbki podłoży po wysuszeniu i roztarciu przesiano przez sito o $\phi = 1,0 \text{ mm}$ [PN-ISO 11464:1999]. W tak przygotowanych próbkach

oznaczono zawartość fosforu przyswajalnego stosując metodę Egnera-Riehma [PN-R-04022:1996/Az1:2002/]. Formy mineralne azotu mineralnego – suma azotu amonowego (N-NH_4^+) i azotanowego (N-NO_3^-), oznaczono metodą kolorymetryczną po uprzedniej ekstrakcji 1% roztworem siarczanu(VI) potasu [PN-R-04028-1997]. Odczyn (pH w H_2O) oznaczono potencjometrycznie [PN-ISO 10390/1970]. Wartości półprzedziałów ufności obliczono stosując test Tukey'a, ($\alpha=0,05$), wykorzystując program FR-ANALWAR opracowany przez prof. dr. hab. Franciszka Rudnickiego.

WYNIKI I DYSKUSJA

W 2007 roku, po przeprowadzeniu pokosów trawy, pH popiołu fluidalnego było wyższe o ok. 1,5 jednostki to znaczy, że uzyskano odczyn zasadowy (tab. 2). Najwyższa wartość pH w H_2O wynosiła 8,87 i był to skutek obecności w popiele znacznych ilości wapnia i magnezu. Wprowadzenie do podłoży z popiołem osadu ściekowego o niższym pH spowodowało zakwaszenie tych podłoży.

W 2008 roku, po zakończeniu pokosów trawy, w porównaniu z glebą kontrolną, pH popiołu fluidalnego było wyższe o ok. 1,0 jednostkę (tab. 2). Analogicznie jak w pierwszym roku doświadczenia obecność osadu ściekowego powodowała zakwaszenie popiołów.

Po zakończeniu trzeciego roku doświadczenia w roku 2009, pH w H_2O popiołu fluidalnego było wyższe o ok. 0,5 jednostki w porównaniu z glebą kontrolną (tab. 2). Analizując zmiany odczynu na przestrzeni trzech lat doświadczenia należy zauważyć stopniowe obniżanie się wartości pH podłoży na bazie zarówno gleby, jak i popiołu fluidalnego z węgla kamiennego. Zakwaszający wpływ osadów ściekowych wynika między innymi z rozkładu związków organicznych, prowadzącego do wydzielania się CO_2 , który tworząc wodorowęglan wapnia, zwiększa ilość kationów zasadowych wymywanych z gleb oraz reakcji nitrifikacji zredukowanych form azotu [Sakała i in. 2004, Xu i in. 2006]. Jednocześnie należy pamiętać o kwaśnym charakterze związków powstających podczas procesu humifikacji i mineralizacji [Skowrońska, Filipek 2008].

Uzyskane średnie wartości pH z trzech lat wskazują na zakwaszanie podłoży przez dodane osady ściekowe, jak i brak wpływu obecności preparatu Efektywne Mikroorganizmy EM-1 oraz Proszku Ceramicznego EM-X.

TABELA 2. Charakterystyka odczynu podłoży wykonanych na bazie gleby oraz popiołu

TABLE 2. Characteristics of reaction of beddings made on the basis of soil and ash

| Wariant Variant | Podłoża na bazie gleby Beddings on the basis of soil | | | | Wariant Variant | Podłoża na bazie popiołu Beddings on the basis of ash | | | |
|--------------------|---|-------------|-------------|-----------------|--------------------|--|-------------|-------------|-----------------|
| | lata doświadczenia years of experiment | | | | | lata doświadczenia years of experiment | | | |
| | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean | | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean |
| 1 | 7,20 | 7,47 | 6,58 | 7,21 | 5 | 8,87 | 8,23 | 7,48 | 8,50 |
| 2 | 7,09 | 7,30 | 6,70 | 7,09 | 6 | 8,07 | 7,61 | 7,30 | 7,77 |
| 3 | 7,29 | 7,13 | 6,64 | 7,09 | 7 | 8,05 | 7,49 | 7,30 | 7,73 |
| 4 | 7,35 | 7,15 | 6,66 | 7,14 | 8 | 8,09 | 7,70 | 7,38 | 7,82 |
| Średnia Mean | 7,24 | 7,28 | 6,64 | – | Średnia Mean | 8,43 | 7,86 | 7,37 | – |
| NIR; LSD | n.s. | n.s. | n.s. | – | NIR;LSD | 0,375 | n.s. | n.s. | – |

TABELA 3. Zawartość azotu amonowego w podłożach wykonanych na bazie gleby i popiołów
[mg N·kg⁻¹ podłoża]
TABLE 3. The ammonium nitrogen content in the beddings made on the basis of soil and fly ash
[mg N · kg⁻¹ of beddings]

| Wariant Variant | Podłoże na bazie gleby Beddings on the basis of soil | | | | Wariant Variant | Podłoże na bazie popiołu Beddings on the basis of ash | | | |
|--------------------|---|------------|------------|-----------------|--------------------|--|------------|------------|-----------------|
| | lata doświadczenia years of experiment | | | | | lata doświadczenia years of experiment | | | |
| | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean | | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean |
| 1 | 3,3 | 3,0 | 8,7 | 5,0 | 5 | 1,7 | 0,0 | 3,8 | 1,8 |
| 2 | 5,1 | 4,0 | 5,8 | 5,0 | 6 | 6,9 | 7,8 | 8,7 | 7,8 |
| 3 | 5,1 | 6,0 | 7,5 | 6,2 | 7 | 8,2 | 8,2 | 7,5 | 8,0 |
| 4 | 4,4 | 9,0 | 10,0 | 7,8 | 8 | 7,0 | 5,0 | 6,0 | 6,0 |
| Średnia Mean | 4,5 | 5,5 | 8,0 | 6,0 | Średnia Mean | 5,9 | 5,2 | 6,5 | 5,9 |
| NIR; LSD | 0,45 | 0,61. | n.s. | – | NIR; LSD | 0,60 | 1,23 | n.s. | – |

Podłoża na bazie gleby zawierały azotu amonowego od 3,0 do 10,0 mg N · kg⁻¹ podłoża. W podłożach z popiołem fluidalnym z węgla kamiennego ilość azotu amonowego była w granicach od 0,0 do 8,7 mg N · kg⁻¹ podłoża (tab. 3). Podłoża zawierające tylko popiół charakteryzowały się niską zawartością azotu amonowego. Wprowadzenie do popiołu osadu ściekowego oraz słomy spowodowało zwiększenie się ilości tej formy azotu w podłożach. Nie stwierdzono jednoznacznego wpływu obecności Preparatu Mikrobiologicznego EM-1 na istotne zmiany zawartości azotu amonowego w podłożach. Po zakończeniu okresów wegetacyjnych ilość azotu amonowego w podłożach była wyraźnie mniejsza niż formy azotanowej(V) (tab. 3 i 4). Powyższe zależności uzyskane w doświadczeniu znajdują potwierdzenie w wielu danych literaturowych [Jończyk 2004; Skowrońska 2004; Falkowska, Filipek 2009].

TABELA 4. Zawartość azotu azotanowego(V) w podłożach wykonanych na bazie gleby i popiołów
[mg N · kg⁻¹ podłoża]
TABLE 4. The nitrate nitrogen(V) content in the beddings made on the basis of soil and fly ash
[mg N · kg⁻¹ of beddings]

| Wariant Variant | Podłoże na bazie gleby Beddings on the basis of soil | | | | Wariant Variant | Podłoże na bazie popiołu Beddings on the basis of ash | | | |
|--------------------|---|--------------|-------------|-----------------|--------------------|--|--------------|--------------|-----------------|
| | lata doświadczenia years of experiment | | | | | lata doświadczenia years of experiment | | | |
| | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean | | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean |
| 1 | 42,0 | 70,0 | 47,3 | 53,1 | 5 | 51,3 | 61,1 | 52,0 | 54,8 |
| 2 | 47,6 | 152,3 | 90,1 | 96,7 | 6 | 122,0 | 255,0 | 268,9 | 215,3 |
| 3 | 51,3 | 326,6 | 110,6 | 162,8 | 7 | 107,2 | 111,3 | 216,1 | 144,9 |
| 4 | 45,7 | 185,5 | 92,4 | 107,9 | 8 | 94,1 | 230,0 | 125,9 | 150,0 |
| Średnia Mean | 46,6 | 183,6 | 85,1 | 105,1 | Średnia Mean | 93,7 | 164,4 | 165,7 | 141,2 |
| NIR; LSD | n.s. | n.s. | 74,72 | – | NIR; LSD | n.s. | 164,96 | 154,32 | – |

W kolejnych latach doświadczenia po zbiorze trawy (*Festulolium braunii*) w wariantach kontrolnych, zarówno w glebie i w popiele, ilość azotu azotanowego(V) była na zbliżonym poziomie w granicach od 42,0 do 70,0 mg N · kg⁻¹ gleby (tab. 4).

Na podstawie wyników otrzymanych w kolejnych latach doświadczenia stwierdzono, że zastosowanie nawożenia osadem ściekowym łącznie ze słomą spowodowało istotny wzrost zawartości azotu azotanowego(V) szczególnie w podłożach z popiołem. Jest to uzasadnione ze względu na charakter wprowadzonych materiałów. Ilość azotu azotanowego(V), oznaczona w drugim roku doświadczenia świadczy o znacznej mineralizacji wprowadzonych do podłoża osadów ściekowych i słomy. Wprowadzenie preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM-1) była czynnikiem obniżającym zawartość azotu azotanowego(V) w podłożach zastosowanych w doświadczeniu, co ewentualnie może wskazywać na zwiększone pobranie azotu przez trawę, w wyniku zastosowanego preparatu mikrobiologicznego. Powyższa zależność była bardziej widoczna przy porównaniu wartości średnich z trzech lat (tab. 4). Stosowanie odpadów zasobnych w związki organiczne przyczynia się do wzrostu zawartości mineralnych form azotu w glebie, co znajduje szerokie udokumentowanie w literaturze przedmiotu [Jończyk 2004, Skowrońska 2004, Licznar i in. 2006]. Procesy te są wynikiem obecności tego pierwiastka we wprowadzanych do podłoża związkach.

Podłoża zastosowane w doświadczeniu wykonane na bazie gleby, charakteryzowały się zawartością fosforu przyswajalnego na zróżnicowanym poziomie. Po zakończeniu wegetacji w latach 2007 i 2009 były to ilości odpowiadające 89,0 i 109,7 mg P · kg⁻¹ podłoża. W 2008 roku po ostatnim pokosie, zawartość fosforu przyswajalnego w kontroli wynosiła 15 mg P · kg⁻¹ podłoża. W wyniku wzbogacenia gleby osadem ściekowym i słomą, ilość fosforu przyswajalnego uległa zwiększeniu o ok. 50%.

Zastosowany w doświadczeniu popiół fluidalny z węgla kamiennego zawierał fosforu przyswajalnego w ilości 9,6 mg P · kg⁻¹ podłoża. Przyjmując kryteria dla gleby mineralnej [PN-R-04022:1996/Az1:2002/], była to zawartość bardzo niska (tab. 5). Jednym z czynników powodujących tak niską, na poziomie kilkunastu miligramów, ilość fosforu przyswajalnego w popiele, był zasadowy odczyn popiołów i przekroczenie wartości pH 8.

TABELA 5. Zawartość fosforu przyswajalnego w podłożach wykonanych na bazie gleby i popiołów [mg P · kg⁻¹ podłoża]

TABLE 5. The available phosphorus content in the beddings made on the basis of soil and fly ash [mg P · kg⁻¹ of beddings]

| Wariant Variant | Podłoża na bazie gleby Beddings on the basis of soil | | | | Wariant Variant | Podłoża na bazie popiołu Beddings on the basis of ash | | | |
|--------------------|---|-------------|--------------|-----------------|--------------------|--|-------------|-------------|-----------------|
| | lata doświadczenia years of experiment | | | | | lata doświadczenia years of experiment | | | |
| | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean | | 2007 | 2008 | 2009 | średnia mean |
| 1 | 89,0 | 15,0 | 109,7 | 71,2 | 5 | 9,6 | 32,3 | 16,8 | 19,6 |
| 2 | 139,8 | 42,7 | 122,1 | 101,5 | 6 | 10,0 | 55,0 | 30,2 | 31,7 |
| 3 | 145,0 | 33,2 | 117,5 | 98,6 | 7 | 12,1 | 37,5 | 28,0 | 25,9 |
| 4 | 142,4 | 35,5 | 124,1 | 100,7 | 8 | 14,7 | 35,2 | 24,2 | 24,7 |
| Średnia Mean | 129,0 | 31,6 | 118,3 | 93,0 | Średnia Mean | 11,6 | 40,0 | 24,8 | 25,5 |
| NIR; LSD | n.s. | n.s. | n.s. | – | NIR; LSD | n.s. | n.s. | 7,08 | – |

Wpływ alkalicznego środowiska na uwstecznianie fosforu przyswajalnego znajduje szerokie udokumentowanie w literaturze przedmiotu [Potarzycki 2000; Bednarek, Reszka 2007; Lemanowicz, Koper 2009]. W wyniku dodania do podłoża z popiołem osadu ściekowego i słomy ilość fosforu przyswajalnego zwiększyła się, a zależność ta jest bardziej widoczna przy porównaniu średnich z trzech lat. Uzyskana w ten sposób zasobność podłoża odnośnie fosforu przyswajalnego pozwala oceniać ją jako niską.

W obecności EM-1 nastąpiło obniżenie zawartości fosforu przyswajalnego w podłożach, co wskazuje na możliwość zwiększonego pobrania fosforu przez trawę w wyniku zastosowanego preparatu (tab. 5). Informacje podawane w literaturze przedmiotu nie są jednoznaczne. Zydlik i Zydlik [2008] uzyskali mniejsze ilości przyswajalnego fosforu w glebie opryskiwanej roztworem Efektywnych Mikroorganizmów. Natomiast wyniki badań Jakubus i in. [2010] nie dają jednoznacznej odpowiedzi odnośnie wpływu preparatu na zawartość przyswajalnych makroskładników.

Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, że wprowadzenie osadu ściekowego i słomy było czynnikiem zwiększającym zawartość fosforu przyswajalnego w podłożach z glebą, jak i z popiołem. Taka zależność była wynikiem wyższej zawartości fosforu w dodanych komponentach nawozowych i znajduje potwierdzenie w wielu danych literaturowych [Potarzycki 2000, Baran i in. 2009, Czekala 2009].

WNIOSKI

1. Analizując zmiany odczynu na przestrzeni trzech lat doświadczenia należy zauważyć, że podłoża zawierające zarówno glebę jak i popiół, ulegały stopniowemu zakwaszeniu.
2. Średnie z trzech lat wartości pH wskazują na istotne zakwaszenie podłoża z popiołem przez dodane osady ściekowe, jak i brak wpływu obecności preparatu Efektywne Mikroorganizmy EM-1 oraz Proszku Ceramicznego EM-X na odczyn podłoża.
3. Na podstawie wyników otrzymanych w kolejnych latach doświadczenia wynika, że zastosowanie nawożenia osadami ściekowymi łącznie ze słomą spowodowało wzrost zawartości azotu amonowego i azotu azotanowego(V) szczególnie w przypadku podłoża z popiołem.
4. Wprowadzenie preparatu Efektywne Mikroorganizmy (EM-1) było czynnikiem obniżającym zawartość azotu azotanowego(V) i fosforu przyswajalnego w podłożach zastosowanych w doświadczeniu.
5. Wprowadzenie osadu ściekowego i słomy do podłoża zarówno z glebą lekką, jak i popiołem fluidalnym z węgla kamiennego, było czynnikiem zwiększającym zawartość fosforu przyswajalnego.

LITERATURA

- BARAN A., JASIEWICZ Cz., TARNAWSKI M. 2009: Wpływ zbiornikowego osadu dennego na zmiany właściwości fizykochemicznych gleby lekkiej. *Proceedings of ECOpole*, 3, 2: 403-408.
- BEDNAREK W., RESZKA R. 2007: Oddziaływanie wapnowania i nawożenia różnymi formami azotu na zawartość ruchomych form i mineralnych frakcji fosforu w glebie, *Annales UMCS, Sec. E*, 62, 2: 234-242.
- CZEKAŁA J. 2009: Osady ściekowe – nawóz czy odpad? *Wodociągi-Kanalizacja* 1: 30 ss.
- FALKOWSKA K., FILIPEK T. 2009: Dynamika zmian zawartości azotu mineralnego w wierzchniej warstwie gleb rejonu oddziaływania Zakładów Azotowych „Puławy” S.A. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 40: 96-102.

- JAKUBUS M., KACZMAREK Z., GAJEWSKI P. 2010: Wpływ wzrastających dawek preparatu EM-A na właściwości gleb uprawnych. Cz. II. Właściwości chemiczne, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 55, 3: 128-132.
- JONCZYK K. 2004: Zawartość azotu mineralnego w glebie w ekologicznym i konwencjonalnym systemie produkcji roślinnej. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 1: 391-397.
- KOPER J., LEMANOWICZ J. 2007: Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem mineralnym na zmiany zawartości fosforu w glebie i roślinie, *Proceedings of ECOpole 1*, 1/2: 154-158.
- LEMANOWICZ J., KOPER J. 2009: Zawartość wybranych form fosforu w glebie i koniczynie łąkowej oraz aktywność fosfataz glebowych na tle zróżnicowanego nawożenia mineralnego i organicznego, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 9 43, 28: 119-139.
- LICZNAR M., DROZD J., LICZNAR E.S, WEBER J., BEKIER J., TYSZKA R., WALENCZAK K., SZADOR-SKI J., PORA E. 2010: Wpływ wieloletniego stosowania ścieków komunalnych na wybrane właściwości gleb pól irygacyjnych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 10 3, 31: 129-137.
- MACKOWIAK C. 2000: Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym. *Nawozy i Nawożenie* 4.
- PN-ISO 10390/1997 – Jakość gleby – Oznaczenie pH.
- PN-ISO 11464:1999 Jakość gleby – Wstępne przygotowanie próbek do badań fizyczno-chemicznych
- PN-R-04022:1996/Az1:2002: Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczenie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych.
- PN-R-04028-1997: Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Metoda pobierania próbek i oznaczenie zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych.
- POTARZYCKI J. 2000: Właściwości chemiczne gleb po dwudziestoletnim nawożeniu gnojowicą bydlęcą i NPK. *Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura* 211: 405-410.
- SAKALA G.M., ROWELL D.L., PILBEAM C.J. 2004: Acid-base reactions between an acidic soil and plant residues. *Geoderma* 123: 219-232.
- SKOWROŃSKA M. 2004: Zawartość azotu mineralnego w glebie nawożonej wybranymi odpadami. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 2: 655-662.
- SKOWROŃSKA M., FILIPEK T. 2008: Wpływ zewnętrznej substancji organicznej na zakwaszenie gleb, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 533, 329-336.
- TKACZYK P., KOSACKA H., NIEZGODA I., SUSKA-JAKUBCZAK E. 2007: Określenie uwarunkowań glebowych gminy Sosnowica w kontekście innowacyjnego planu rozwoju gminy – badanie stanu gleb, Okręgowa Stacja Chemiczno Rolnicza w Lublinie: 1-20.
- WOŁOSZYK C., KRZYWY E., IŻEWSKA A., KRZYWY-GAWROŃSKA E., BALCER K. 2006: Wpływ bezpośredni i następczy komunalnego osadu ściekowego na wielkość plonu oraz zawartość makroskładników w roślinach testowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 512: 647-659.
- ZYDLIK P., ZYDLIK Z. 2008: Impact of biological effective microorganism (EM) preparations on some physico-chemical properties of soil land vegetative growth of apple- tree rootstocks, *Nauka Przyr. Technol.* 2, 1: 1-8.
- XU J.M., TANG S., CHEN Z.L. 2006: The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 709-719.

Prof. dr hab. Sławomir Stankowski
Katedra Agronomii
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 3
71-459 Szczecin
e-mail: agronomia@zut.edu.pl